รายงานการวิจัยเรื่อง	การศึกษาการเสียหายของโครงสร้างผนังบางรูปทรงกระบอกกลวงและกรวยกลวงที่มีความหนาไม่คงที่ภายใต้แรงกระทำตามแนวแกน
หัวหน้าโครงการวิจัย	นายชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์
หน่วยงาน	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ระยะเวลาดำเนินโครงการ	2 ปี
คำสำคัญ	โครงสร้างผนังบาง การเสียหาย การดูดซับพลังงาน การกระแทก

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านการชนของโครงสร้างทรงกรวยกลวง และทรงกระบอกกลวงที่มีความหนาไม่คงที่ โดยกำหนดให้ความหนาของโครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงใน 2 ลักษณะ ได้แก่ ความหนาเปลี่ยนแปลงตามแนวแกน และความหนาเปลี่ยนแปลงในแนวรัศมี ทั้งสองกรณีมีความหนาเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง ตามอัตราส่วนความหนา (E) ต่างๆ กัน ได้แก่ E = 0.0 (ความหนาคงที่) E = 0.1, 0.2 และ 0.3 โครงสร้างแต่ละชิ้นมีความหนาเฉลี่ย ได้แก่ 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm และ 2.5 mm กรณีทรงกระบอกกลวงมีขนาดรัศมีเฉลี่ย 25 mm กรณีทรงกรวยกลวงมีขนาดรัศมีเฉลี่ยด้านแคบ 15 mm และรัศมีเฉลี่ยด้านกว้าง 35 mm โครงสร้างทั้งสองมีความสูง 90 mm ขึ้นรูปจากอลูมิเนียม นอกจากนี้การศึกษานี้ยังศึกษาอิทธิพลของรูปแบบการยึดฐาน อันได้แก่ การยึดฐานแบบปล่อยอิสระทั้งสองด้าน (Free-Free) การยึดฐานแบบปล่อยอิสระด้านบน ยึดแน่นด้านล่าง (Free-Fix) การยึดฐานแบบยึดแน่นด้านบน ปล่อยอิสระด้านล่าง (Fix -Free) และการยึดฐานแบบยึดแน่นทั้งสองด้าน (Fix-Fix) ตัวแปรหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ ภาระวิกฤติ (Critical Load, Pcr) และพลังงานดูดซับ (Energy Absorption, Ea)

การศึกษานี้ใช้วิธีการทดลองและใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือหลักในการศึกษา การทดลองทำโดยสร้างชิ้นงานให้มีขนาดและการเปลี่ยนแปลงความหนาตามที่กล่าวมา แล้วนำชิ้นงานทั้งหมดมารับแรงกดในแนวแกนด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ยี่ห้อ EHS Testing การทดลองใช้วิธีการกดด้วยความเร็วอย่างช้าๆ และคงที่ที่ 5 mm/min กดลงมาเป็นระยะทางประมาณ 70% ของความสูงเดิม ส่วนแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้นใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทาง FEA ชื่อ ABAQUS ในการสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยอิลิเมนต์แบบเปลือกบาง 4 โหนด (S4R – Shell Element) แล้วจำลองการ

กดเหมือนในการทดลองเพื่อทำการสอบเทียบโปรแกรม จากนั้นจึงนำโปรแกรมที่ผ่านการสอบเทียบแล้วไปใช้ในการศึกษาเงื่อนไขอื่นๆ ต่อไป

ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้สามารถให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับการทดลองในระดับที่ยอมรับได้ กล่าวคือมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยประมาณ 6% นอกจากนี้ยังพบว่าแบบจำลองที่ใช้ยังสามารถทำนายรูปแบบการเสียหาย และลักษณะการแกว่งตัวของกราฟได้ใกล้เคียงกับการทดลองมาก จึงสรุปว่าสามารถใช้โปรแกรมดังกล่าวในการศึกษานี้ได้ นอกจากนี้ผลการศึกษายังชี้ให้เห็นว่าความไม่สมบูรณ์ของความหนามีผลต่อการคำนวณเกี่ยวกับการเสียหายของโครงสร้าง ดังนั้นจึงควรรวมอิทธิพลของความเบี่ยงเบนของความหนาไว้การคำนวณด้วยเสมอ

ในการศึกษานี้พบรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างทรงกรวยและทรงกระบอกกลวง 2 แบบด้วยกัน คือ การเสียหายแบบวงแหวนทับซ้อนกัน (Concertina Mode) หรือ การเสียหายแบบสมมาตร (Axisymmetric Mode) และการเสียหายแบบเป็นกลีบการเสียหายซ้อนกัน (Multi Loop Mode, Diamond Mode) หรือ การเสียหายแบบไม่สมมาตร (Asymmetric Mode) โดยการเสียหายแบบสมมาตร พบในกรณีทรงกระบอกที่มีความหนาคงที่ และทรงกระบอกที่มีความหนาเปลี่ยนแปลงในแนวแกน ส่วนการเสียหายแบบไม่สมมาตรนั้นพบในทรงกระบอกที่มีความหนาเปลี่ยนแปลงในแนวรัศมี และกรณีทรงกรวยที่มีความหนาคงที่และไม่คงที่ทุกรูปแบบ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อโครงสร้างยุบตัวลงไป กราฟภาระและระยะยุบตัว (Load Displacement Curve) จะมีการแกว่งตัวขึ้นลงโดยสัมพันธ์กับการก่อตัวของวงแหวนการเสียหาย หรือกลีบการเสียหายในระหว่างการยุบตัวของโครงสร้างด้วย ทั้งนี้พบว่าทรงกรวยกลวง มีแนวโน้มการแกว่งตัวของค่าภาระสูงขึ้นเมื่อการยุบตัวมากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่าทรงกระบอกกลวง และกรวยกลวงที่มีความหนาเพิ่มขึ้นตามแนวแกนก็จะมีค่าภาระสูงขึ้นเมื่อมีการยุบตัวมากขึ้น แสดงว่าโครงสร้างดังกล่าวมาสามารถรับแรงกดได้สูงขึ้นเมื่อการเสียรูปดำเนินไป

เมื่อพิจารณาในแง่ของภาระวิกฤติพบว่า ทรงกระบอกกลวงและทรงกรวยกรวงที่มีความหนาเปลี่ยนแปลงในแนวแกนมีค่าภาระวิกฤติลดลง เมื่อค่าอัตราส่วนความหนา (E) เพิ่มขึ้น ส่วนกรณีทรงกระบอกกลวงและทรงกรวยกรวงที่มีความหนามาก และมีเปลี่ยนแปลงความหนาในแนวรัศมี กลับพบว่าค่าภาระวิกฤติของโครงสร้างจะสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนความหนาเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงอาจสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ทรงกระบอกกลวงและทรงกรวยกรวงที่มีความหนามากได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงความหนาในแนวรัศมี นอกจากนี้ยังพบว่าการยึดแน่นที่ฐานทั้งสองข้าง หรือฐานด้านบนของโครงสร้างสามารถเพิ่มค่าภาระวิกฤติให้แก่โครงสร้างได้ประมาณ 10% ในกรณีทรงกระบอกกลวงและกรวยกลวงที่มีความหนาเปลี่ยนแปลงตามแนวแกน และประมาณ 9%-15% ในกรณีทรงกระบอกกลวงและกรวยกลวงที่มีความหนาเปลี่ยนแปลงตามแนวรัศมี

เมื่อพิจารณาในแง่ของค่าพลังงานดูดซับ พบว่าโครงสร้างทรงกรวยกลวงและทรงกระบอกลวงที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาในแนวแกนหรือในแนวรัศมี ด้วยอัตราส่วนความหนาไม่สูงมากจนเกินไป (E ~ 0.1) โครงสร้างทั้งสองจะสามารถดูดซับพลังงานได้มากขึ้นกว่ากรณีความหนาคงที่ แต่หากอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนามากกินไป (E > 0.1) ความสามารถในการดูดซับพลังงานนี้จะลดลง ส่วนอิทธิพลของรูปแบบการยึดฐาน ยังไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์กับค่าพลังงานดูดซับได้อย่างชัดเจน ยกเว้นในกรณีทรงกรวยกลวงที่ความหนาเปลี่ยนแปลงในแนวแกน พบว่าการยึดฐานแบบยึดแน่นทั้งสองข้างสามารถเพิ่มความสามารถในการดูดซับพลังงานได้

การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงความหนาต่อคุณลักษณะการเสียหายของโครงสร้างทรงกระบอกกลวง และทรงกรวยกลวง ตลอดจนอิทธิพลของรูปแบบการยึดฐาน ต่อคุณลักษณะดังกล่าว นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นแนวทางในการเพิ่มความสามารถในการรับแรงกด และเพิ่มความสามารถในการดูดซับพลังงานของโครงสร้างทั้งสองด้วยการเปลี่ยนแปลงความหนาในรูปแบบต่างๆ ร่วมกับการยึดฐานบางแบบ การดำเนินการเพื่อเพิ่มความสามารถของโครงสร้างในวิธีดังกล่าวนี้สามารถทำได้โดยไม่ต้องใช้วัสดุเพิ่มเติม

Project Title	The study on the behavior of non-constant thickness cylindrical and conical shells subjected to axial loading
Head of Project	Mr. Chawalit Thinvongpituk (PhD) Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Ubonratchathani University
Project Duration	2 Years
Keywords	Thin Shell, Plastic Collapse, Energy Absorption, Impact, Crashworthiness

Abstract

This study was aimed to investigate the crush characteristic of aluminum conical and cylindrical shells with varying thickness. The thicknesses of specimens was assigned to be increased linearly along axial and circumferential directions with the thickness ratio (E) of 0.0 (constant thickness), 0.1, 0.2 and 0.3. The mean thicknesses of specimens were 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm and 2.5 mm. The cylinder had mean radius of 25 mm. In case of truncated frusta, its small and large radii were 15 mm and 35 mm respectively. Both structures were manufactured with 90 mm height. The influence of various edge conditions were also examined ie; simply supported at both ends (Free-Free), simply supported at the top and constrained at bottom end (Free-Fix), constrained at the top and simply supported at bottom end (Fix -Free) and fully constrained at both ends (Fix-Fix). Key parameters used in this study were Critical Load (Pcr) and Energy Absorption (Ea).

The investigation was conducted with experiments and computer simulation technique. The experiment was carried out with a number of specimens with geometries and dimensions as explained. The specimens were crushed, quasi statically, using a universal testing machine (EHS Testing) in axial direction with speed of 5 mm/min for about 70% of original height. The computer simulation used in this study was the FEA computer package, namely ABAQUS. The 3-D model was constructed with a number of 4 node shell elements (S4R). The comparison between the simulation model and experimental results was made in order to verify the model.

The comparison revealed that the energy absorption predicted by the FEA model agreed well with experiment, with average error of 6%. In addition, modes of collapse and the patterns of load-displacement curves between them were found similar. The simulation results also indicated that the influence of thickness variation has significant effect on the result of calculation for structural failure and should be taken into account in the analysis.

This study found 2 modes of collapse, which are the Concertina Mode or Axisymmetric Mode and the Multi Loop Mode (Diamond Mode) or Asymmetric Mode. The Concertina Mode was found in case of cylinders with constant thickness and cylinders with thickness varied along their axial. The rest were found to fail in Asymmetric Mode. The results also indicated that the fluctuation of load-displacement curve is related to the formation of failure rings and failure loops. In addition, it was found that the load-displacement curve of cone tends to increase as the failure progresses. A similar phenomenon was observed in cases of cones and cylinders with thickness variable in axial direction. This result suggested that those structures may be able to absorb more energy as the collapse progresses.

Considering the critical load, the conical and cylindrical shells with thickness varied along the axial has lower critical load as the thickness ratio increases. In contrast for thick cylinders and cones with thickness varied along the circumference, their critical loads were found to increase as the increment of thickness ratio. This suggested that one may enhance the strength of thick cones and cylinders by varying thickness along their circumference. It was also found from this study that by constraint both ends or the top end could improve their critical loads by 10% for cones and cylinder with thickness varied along axial direction and by 9%-15% for cones and cylinder with thickness varied along circumferential direction.

The present study also revealed that the conical and cylindrical shells having thickness varying along their axial and circumferential directions, under low thickness ratio ($E \sim 0.1$), could absorb more energy than the constant thickness ones. However, their energy absorption capacities tended to drop when the thickness ratio increased more than 0.1. The influence of edge conditions on the energy absorption capacity of cones and cylinders was also investigated here. In general, the relationship between type of edge conditions and energy absorption could not be made precisely.

Only, one conclusion could be made was the conical shells with thickness varied along the axial can absorb more energy if their ends are constrained.

The present study has revealed the influence of thickness variation, as well as the influence of edge conditions, on the crashworthiness characteristic of conical and cylindrical shells. In addition, it has presented the method to improve the critical load and energy absorption capacity of those structures by varying their thicknesses in some patterns together with constraining their ends with some conditions. By the proposed method, the crashworthiness capacity of cones and cylinders can be enhanced without more material requirement.